



あたらしい 林業技術

No.649

主伐後再造林の低コスト化検証

平成 30 年度

要旨

1 技術、情報の内容及び特徴

- (1) 主伐後の再生林の低コスト化を図るため、実証調査を行い、その経費を試算しました。
- (2) 全木集材した緩傾斜の主伐地でグラップルを使用した場合の地拵え経費は、人力による標準経費の32～51%でした。
- (3) 獣害対策の初期投資としての斜め張りネット柵は、金網柵の28%、縦張りネット柵の73%の経費でした。
- (4) 架線系機械での苗木の運搬経費は、人力による標準経費の3～40%でした。
- (5) 精英樹交配苗の林地植栽で3成長期後に樹高3 m以上となるものが得られ、このような初期成長に優れる苗の植栽によって下刈り回数の削減が期待でき、経費は標準の51～61%になると試算されました。
- (6) コンテナ苗をディブルを使って2000本/haの密度で植栽すると、裸苗を唐鍬を使って3000本/haで植栽する標準植栽の76～78%の経費でした。
- (7) 植栽密度2000本/haでの坪刈りは、3000本/haで全刈りする場合よりも作業時間が短く、75%の経費でした。
- (8) 調査結果に基づいて、目標と傾斜の観点から再生林経費を試算しました。地拵え、植栽、下刈り、獣害対策の合計で、標準経費の62～85%の経費となりました。

2 技術、情報の適用効果

新技術を導入することにより、再生林の低コスト化が期待できます。

3 適用範囲

人工林の立地条件や目標林型はさまざまであり、すべてを画一的な施業方法で対処できません。再生林の低コスト化には、傾斜が緩く道から200m以内の場所を優先的に対象地とするなど、実行可能な人工林を対象とすることが重要です。

4 普及上の留意点

- (1) 地拵えは枝条整理の程度によって経費に大きな違いが表れます。地拵えの省力化程度が、その後の苗木植栽や下刈りの作業に及ぼす影響について検討する必要があります。
- (2) シカ柵による防護では、倒木による破損や獣の絡まりで柵が壊れた事例がありました。ネットの目合いが大きいと、ノウサギが入る心配もあります。柵の種類に限らず設置後の見回り点検、補修が必要です。
- (3) 高速自走式搬器やスイングヤードにより、一度に大量の苗を運ぶことができます。苗木を入れる吊り袋等を工夫することで、より多くの苗を一度に運搬することが可能となります。
- (4) 通年植栽が可能なコンテナ苗でも、標高が高く、冬季に土壌が凍結するような場所では、凍上や寒風による枯死が起こる場合があります。秋季から冬季の植栽は困難です。
- (5) 現状のコンテナ苗の価格は裸苗よりも高いので、生産規模の拡大や育苗期間を短縮する等の方法により、価格を下げる必要があります。

目次

はじめに	1
1 静岡県の実業の現状と解決策	1
2 低コスト化の方法	3
(1) 地拵え	3
(2) 獣害対策	3
(3) 苗木運搬	4
(4) 成長に優れる苗の植栽	5
(5) コンテナ苗の低密度植栽	5
(6) 下刈り	6
3 再造林のシミュレーション	7
おわりに	7
参考文献	7

はじめに

静岡県内のスギやヒノキの人工林は利用可能な成熟期を迎えており、森林の多面的機能を持続的に発揮させていくためには、こうした森林資源を有効に活用し、生産性の高い森林経営が必要です。静岡県では、県産材の生産を高めるために立地条件が木材生産に適した人工林を中心に、①森林施業の集約化、②路網の整備、③高性能林業機械の導入、④技術者の育成確保などの支援施策を実施し、森林の育成・整備を進める利用間伐を重点的にした木材増産に取り組んできました。しかし、高まる木材需要に応え、今後も持続的に木材の安定生産・供給を行い、偏った林齢を平準化するためには、次世代への更新（植林・育林）を伴う主伐（皆伐）を進めていくことが必要です。主伐を行った場合、再造林を行う必要がありますが、現状では主伐後の植栽と育林、獣害対策等の経費が、伐採によって得られる収入を大きく上回ると試算され、主伐が進まない要因となっています。この状況を打開するために、再造林においてのコスト削減は、静岡県のみならず我が国の林業再生にとって緊急の課題となっています。そのため、県内で再造林の省力化に関する実証試験や調査を行い、その結果から各作業に要する経費を試算し、従来から行われていた通常の手法による標準経費との比較を行いました。

1 静岡県の林業の現状と解決策

静岡県のスギ・ヒノキの人工林は、柱材、板材などの住宅資材として利用可能な46年生以上の林齢の森林が80%以上を占めており、偏った林齢構成になっています。成熟した森林資源を有効に活用し偏った林齢構成を平準化させ、木材生産の持続性を確保する森林経営を構築していく必要があります。現状では、県産材の生産量は46.3万 m^3 /年（平成29年度）で、そのうち主伐によるものが13.6万 m^3 /年、間伐によるものが32.7万 m^3 /年となっています。しかし、将来も安定的な木材生産や供給を行っていくためには、人工林の世代交代が必要であり、主伐（皆伐）が不可欠となります。主伐を行った場合、放置しておけば天然更新により低質広葉樹林等へ遷移し、用材として利用可能な森林資源の枯渇が生じてしまいます。そのため、再造林を行う必要がありますが、現状の造林技術では植林から育林までの再投資経費が約240万円/ha必要であり、シカ等の獣害対策費95万円/haを含めると335万円/haとなって、伐採で得られる収入238万円/haを97万円/ha上回ることとなります²¹⁾。このため、国際的価格競争に置かれている現状では、収益を確保できず、森林所有者の主伐に対する意欲が減退し、林業生産活動が停滞してしまいます。この状況を打開するためには、費用があまりかからない森林施業体系を構築、実現する必要があります¹⁶⁾。主伐した後の植林と育林に掛かる再投資経費の中で、初期の10年間に行う植栽と下刈りの占める割合が約6割となっていますので、短期間で草丈を上回る初期成長特性を重視した苗を植栽し下刈り回数の低減を図ることが求められます。また、植栽効率がよく活着性に優れるコンテナ苗を使って伐採から植栽までを連続的に行う一貫作業システムを導入し¹²⁾、低密度植栽、下刈り手法やシカ対策の改良も合わせた、コスト低減の新システムを構築する必要があります。現状の間伐による木材生産量30万 m^3 /年を維持しつつ、このような新しい再造林システムを実践することによって生産性の高い主伐を進め、それによる木材生産量を20万 m^3 /年に増大させることが今後の目標となります。これにより、森林資源の循環利用や林業所得の向上による林業の自立が促進され、森林の多面的機能の発揮や、持続可能な森林経営の構築が実現されます。（図1）

○ 県内森林資源の現状

46年生以上が80%以上（人工林）
偏った林齢構成

木を育てる時代から利用の時代へ転換

○ 県産材生産の現状

46.3万m³ /年（平成29年度）
（主伐 13.6万m³ 間伐 32.7万m³）

○ 問題点

高い再造林経費

割合の大きい初期経費を下げたい

主伐収入
238万円/ha

<

植栽・下刈り支出 158万円/ha
枝打ち・除間伐支出 82万円/ha
シカ対策 95万円/ha

○ 解決策

低コスト主伐・再造林の推進

- ・高い生産性
- ・森林の世代交代促進
- ・林齢の平準化

従来型再造林

新しい再造林システム

主伐	皆伐（秋・冬）
集材	全幹集材
地拵え	人力で枝条等を片付け
植栽	手作業 3000本/ha
下刈り	全刈り5~6回 （5~6年間）

育苗

露地
裸苗

春季の植栽

エリートツリー	
下刈り期間の短縮	
コンテナ苗	
施設育苗 植栽期間が長い 植栽容易 活着良好	伐採と植栽の 一貫作業
	
伐採 全木集材 地拵え 苗木搬入 植栽	同時
下刈りの改良 （全刈り・坪刈り）	
低密度植栽 2000本/ha	
シカ対策の改良	

○ 平成33年度目標

50万m³ /年
（主伐 20万m³ 間伐 30万m³）

図1 静岡県の林業の現状と解決策

2 低コスト化の方法

(1) 地拵え

伐採・搬出後に再び造林する場合、苗木の植栽場所を確保するために、散乱した枝条を整理する地拵えが必要です。従来は、伐倒後にチェーンソー等による枝払いを行い、全幹集材（幹のみの集材）していたため、大量に発生する枝条を人力により整理していました。これを全木集材（伐倒木の枝葉を幹に残したまま集材）に切替えることで、林内に残る枝条を減らすことができます²⁰⁾。さらに緩傾斜地では、集材に用いたグラップル等の林業機械で地拵えすることにより 11.0 万円/ha の経費となり、人力地拵えによる標準経費を 32～51% に削減することが可能となりました（図 2）。他県の緩傾斜地での調査でも、人力地拵えに対して、グラップル地拵えは 25% 程度の経費となっています¹¹⁾。他県と静岡県の結果では、さまざまな条件が異なりますが、機械地拵えで大幅に経費を削減できることでは一致しており、地拵えでの機械の優位性が示されたと考えられます。

施工する事業者の考え方にもよりますが、ていねいに地拵えした場合とある程度省力化した場合では、経費に大きな違いが表れます。地拵えの程度が、その後の苗木植栽や下刈りの作業にどのような影響を及ぼすのかについては明らかではありません。今後は、地拵えの程度と植栽、下刈りの効率性について検討する必要があります。



人力 21.7～34.6 万円/ha（標準経費）



グラップル 11.0 万円/ha

図 2 地拵えの経費比較

(2) 獣害対策

植栽後の苗木がシカやカモシカ等に食害されることがしばしば起こります。食害に対して、低コストで決定的な策はありませんが⁵⁾、何らかの対策をしなければ植栽した苗が被害にあう可能性は大きくなります。そのため、これまでに金網柵や縦張りネット柵、ツリーシェルター等で新植した苗木の保護を図ってきました。縦張りネット柵や金網柵に比べて、埼玉県が開発した新方式の斜め張りネット柵（さいねっと）^{4, 10)}は資材費や設置経費が安価で 46.7 万円/ha となり、従来経費の 28～73% となり初期の投資額は低く抑えられました。

柵による獣害対策では、設置後に倒木や獣の絡まりにより、柵が破損した事例が確認されています。また、ネットの目合いが大きいと、ノウサギが侵入する心配もあります。これらの懸念は斜め張りネット柵に限ったことではなく、縦張り柵や金網柵でも起こることです⁷⁾。したがって、

柵設置だけでは万全ではなく、見回りや補修が必要なこと、シカ等が柵内に侵入した場合には、苗木が食べられたり、樹皮剥ぎされる心配があり、補植する可能性も出てくることを認識しておく必要があります。



金網柵（標準経費）
164.2万円/ha



縦張りネット柵（標準経費）
64.3万円/ha



斜め張りネット柵
46.7万円/ha

図3 シカ柵の経費比較

（3）苗木運搬

トラック等で搬入した苗木を植栽場所へ小運搬する場合、従来は人力で背負子などを使って担ぎ上げていました。伐採から植栽までを一時期に行う一貫作業システムを取り入れれば、伐採や集材に引き続いて苗木を植栽することになり、緩傾斜地では車両系機械（フォワーダ等）を使って苗木を効率的に運ぶことができます¹¹⁾。集材に用いた架線系機械で苗木を運搬することにより、急傾斜地でも作業の効率化が可能となり、経費は高速自走式搬器で0.1万円/ha、スイングヤーダで1.4万円/haとなり、それぞれ標準経費の3%、40%でした（図4）。

苗木を入れる吊り袋等を工夫することで多くの苗を一度で運搬すれば、さらに経費を下げることが可能だと考えられます。一方、苗木1梱包で約30kgの重量となりますが、これを背負って植栽地を移動する人力運搬は相当な重労働であり、機械で運搬すれば人体への負担も少なくなり、運搬距離が長くなればさらに機械での効果が大きいと考えられます。

シカ柵設置後では架線系機械の撤去が難しくなるので、機械による運搬はシカ柵設置前の作業となります。培地付きのコンテナ苗であれば、乾燥に耐えることができますので、運搬した場所にまとめてネットや枝条で覆うことにより、シカ等の食害を防いで保管することができます¹⁾。調査現場では、15日間保管した後に植栽しても苗は問題なく活着しています。



人力 3.5万円/ha（標準経費）



高速自走式搬器 0.1万円/ha



スイングヤーダ 1.4万円/ha

図4 苗木運搬の経費比較

(4) 成長に優れる苗の植栽

下刈りは、造林コストの約4割を占めると試算されています⁸⁾。そのため、短時間で草丈を上回る初期成長に優れる苗を植えることで、下刈りの回数を減らすことも経費削減の一つの方法です。優良な精英樹を親とした交配苗を作出し林地へ植栽したところ、対照系統や周辺木よりも初期成長に優れるものが得られ、これら優良候補木の平均樹高は植栽から3年目には下刈り終了の目安とされる3m^{14, 17)}を超えていました。このような苗を植栽できれば、下刈りを3年間行えば良いことになり、これまで植栽後5～6年間行ってきた下刈り期間を短縮することが可能となります。これにより、全刈り3回(3年間)の経費は46.2万円/haと試算され、従来の51～61%の経費にすることが期待できます(図5)。

初期成長に優れる候補木の中には、若齢時の段階で材の強度が対照木よりも優れ、無花粉または雄花着生量が少ない傾向にあるものもあり、10年生以上の成木となる時期には国が認定するエリートツリー(特定母樹)等¹³⁾の基準を満たすことも期待されるため、将来的にも調査を継続する必要があります。



精英樹系統の苗 全刈り5～6回
75.4～90.0万円/ha(標準経費)



赤白ポール
高さ2m

初期成長に優れる苗 全刈り3回
46.2万円/ha

図5 植栽苗の成長の違いによる経費比較

(5) コンテナ苗の低密度植栽

コンテナ苗は施設で育苗でき、植栽可能な期間が長く、活着が良いことが大きな特徴です¹⁸⁾。これに加えて、根鉢の形成により根系の形状が均一でコンパクトになり、植栽効率が高いという利点があります⁹⁾。その一方で、現状のコンテナ苗の価格は裸苗よりも高く、従来の3000本/haの植栽密度よりも低い密度にしなくては植栽経費の削減が実現できない状況です。そのため、これまでに行ってきた通直で節の少ない優良材生産から、需要が増大している合板用等の並材生産に目標を切り替え、樹型や材積、材の強度等の点から木材利用と再造林コストの削減が可能な2000本/haの植栽密度にすれば²⁾47.8～49.0万円/haの経費となり従来の3000本/ha植栽の76～78%の経費となります(図6)。

通年植栽が可能で活着性に優れるコンテナ苗とはいえ、標高が高く冬季に土壌が凍結するような場所では、凍上や寒風による枯死が起こる場合があります。このような立地ではコンテナ苗の秋季から冬季の植栽は困難です。また、コンテナ苗の価格を下げることは大きな課題となってい

るため¹¹⁾、生産規模の拡大や¹⁵⁾、育苗期間を短縮する等の技術開発が必要です。



裸苗 3000 本/ha 植栽
63.0 万円/ha

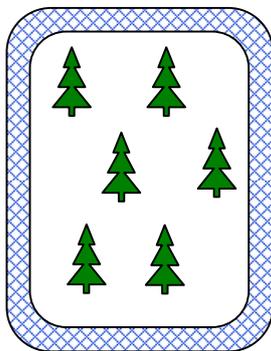
コンテナ苗 2000 本/ha 植栽
47.8~49.0 万円/ha

図6 苗木植栽の経費比較

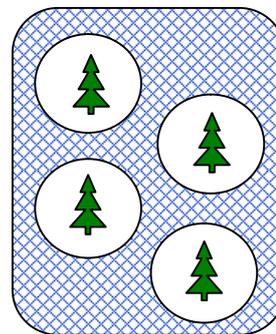
(6) 下刈り

造林コストの約4割を占めると試算される下刈りの経費削減には、初期成長に優れる苗木を植栽することで下刈りの回数を減らす以外に、下刈りの手法を改良することも大切です。従来は密度 3000 本/ha の苗木植栽地の全面を刈る全刈りが一般的でしたが、並材生産を目標として植栽密度を 2000 本/ha 程度に抑え、苗木の周辺のみを刈る坪刈りでは、1 回当たりの下刈り経費が 12.7 万円/ha で全刈りの 75% となります (図7)。

植栽木の梢端部が周辺の雑草木に覆われていなければ樹高成長の低下は小さいとされており¹⁹⁾、全刈りに対して坪刈りでは苗の肥大成長はやや遅れるものの、樹高成長には差が認められません⁶⁾。したがって、坪刈りでも苗木が草や灌木の高さを超えるまでの期間は全刈りと変わらないと考えられ、経費を減らすためには有効な方法の一つであると考えられます。



3000 本/ha 植栽での全刈り
17.0 万円/ha



2000 本/ha 植栽での坪刈り
12.7 万円/ha

図7 下刈りの経費比較

3 再生林のシミュレーション

森林所有者らの経営目標や施業地の傾斜などの要因により、再生林の経費は変わります。そのため、静岡県内での調査結果に基づいて、目標と傾斜の観点から再生林経費を試算しました。

地拵え、植栽、下刈り、獣害対策の合計で標準経費としては約 237 万円/ha の経費がかかります。優良材生産を目標にすると、3000 本/ha の高密度で植栽した後に全刈りで雑草木を確実に除き、間伐で優良木を残すという施業方法になるため、苗木植栽や下刈り経費が高くなり、急傾斜地になればグラップルを入れられないため人力地拵えにせざるを得ないことが想定され、その経費が上乘せになります。これに対して、2000 本/ha 程度の植栽密度でも合板用の並材は生産できるとされています³⁾。需要が拡大している並材生産を目指せば苗木の植栽本数が少なくなり、下刈りを全刈り 1 回、坪刈り 2 回で済ませて省力化を図ることにより、その分が低コスト化につながります。さらに緩傾斜地であれば地拵えの機械化で経費の削減ができます。このような条件に加えて斜め張り柵を導入し、今後生産が始まるエリートツリー等のコンテナ苗をディブルで植栽すれば、地拵え、植栽、獣害対策、下刈りの積算経費が 148 万円/ha で従来経費の 62%になると試算されました(図 8)。傾斜が緩く道から 200m 以内の人工林を集約化して主伐に取り組み込むことができれば、大幅な低コスト化が期待できます。

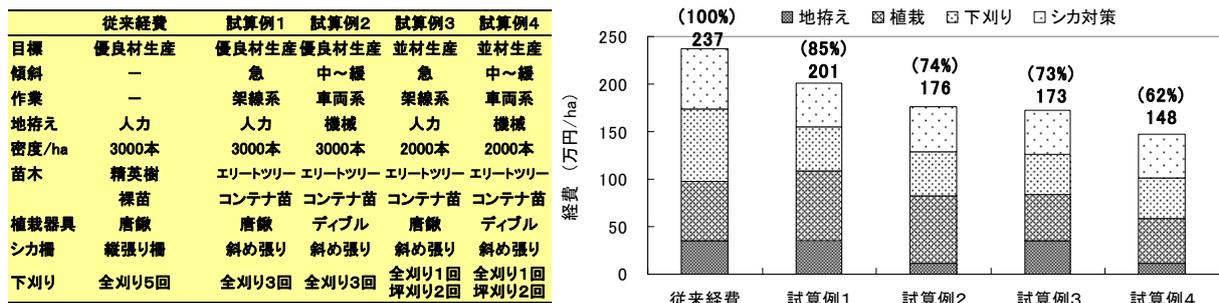


図 8 再生林の低コスト化試算

おわりに

主伐・再生林地の標高や地形、林況、下層植生等の条件によって、経費は大きく異なります。また、森林所有者の経営目標や意向によっても、林業機械の導入や植栽密度、シカ対策の手法、苗の種類が異なり、それが経費に反映されます。この冊子に示した手法や経費試算は、再生林の経費を低減させる個々の事例として理解していただき、さまざまな条件に対応した今後の実証によってより良い手法を検討していく必要があります。

参考文献

- 1) 藤本浩平・山崎 真・渡辺直史・山崎敏彦, 2016. 架線系一貫作業システムの実用化にむけてーコンテナ苗の架線による運搬・現地保存・植栽ー. 森林技術 897, 16-19.
- 2) 福地晋輔・吉田茂二郎・溝上展也・村上拓彦・加治佐剛・太田徹志・長島啓子, 2011. 低コスト林業に向けた植栽密度の検討ーオビズギ植栽密度試験地の結果からー. 日本森林学会誌93, 303-308.

- 3) 広島県, 2016. ～資源の循環利用につながる～200本植栽育林技術体系, 28pp
- 4) 池田和弘, 2013. 埼玉県農林公社式シカ防除ネット歩掛調査及び効果等報告書. 平成24年度革新的低コスト化造林事業, 44pp
- 5) 石塚森吉, 2013. 低コスト化造林技術の研究開発方向. 低コスト造林・育林技術最前線, 全国林業改良普及協会, 東京, 14-23.
- 6) 伊藤 愛・綿野好則・袴田哲司・山本茂弘・近藤 晃, 2015. 植栽密度別試験地における省力的な下刈り方法の検討ー作業工程と植栽木の初期成長量の比較ー. 静岡県農林技術研究所研究報告8, 89-93.
- 7) 伊藤 愛, 2014. 斜めに設置する新方式ニホンジカ防除ネットの検証. F&F1057, 静岡県林業会議所
- 8) 鹿又秀聡, 2014. 再生林の低コスト化を進めていくためにー国産材の安定供給を目指してー. 木材情報283, 13-16.
- 9) 近藤 晃・袴田哲司・山田晋也・伊藤 愛・山本茂弘, 2015. コンテナ苗の植栽作業工程に及ぼす植栽器具と作業者の影響. 中部森林研究63, 111-114.
- 10) 公益財団法人埼玉県農林公社, 2013. 造林事業標準歩掛表. 26pp
- 11) 大矢信次郎・斎藤仁志・城田徹央・大塚 大・宮崎隆幸・柳澤信行・小林直樹, 2016. 長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる伐採・造林一貫作業の生産性. 日本森林学会誌98, 233-240.
- 12) 林野庁, 2017. 再生林の低コスト化を進めていくためにー国産材の安定供給を目指してー. 木材情報283, 13.
- 13) 星比呂志・倉本哲嗣, 2013. エリートツリーにより期待される施業の効率化. 低コスト造林・育林技術最前線, 全国林業改良普及協会, 東京, 132-140.
- 14) 星比呂志・倉本哲嗣・平岡裕一郎, 2013. 今後のエリートツリーの活用による育種の推進. 森林遺伝育種2, 132-135.
- 15) 上村佳奈・落合幸仁・山田 健・鹿又秀聡, 2012. スギのコンテナ育苗の生産コスト分析. 関東森林研究63, 49-52.
- 16) 宇都木 玄, 2015. これからの森林施業の道筋を考える. 山林1570, 20-29.
- 17) 渡邊仁志・茂木靖和, 2012. スギの初期成長に及ぼす立地と施肥の影響, および省力造林の可能性. 岐阜県森林研究所研究報告41, 1-6.
- 18) 山川博美・重永英年・久保幸治・中村松三, 2013. 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後1年目の活着と成長に及ぼす影響. 日本森林学会誌95, 214-219.
- 19) 山川博美・重永英年・荒木眞岳・野宮治人, 2016. スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響. 日本森林学会誌98, 241-246.
- 20) 山本道裕・野末尚希, 2016. 急傾斜地における架線系高性能林業機械を活用した一貫作業システム実証試験の成果について. 森林技術897, 12-15.
- 21) 吉村 洋, 2016. 森林の循環利用確立に向けた再生林コストの低減ー伐採から再生林までの一貫作業システムの可能性. 林経協季報柚道41, 1-6.

農林技術研究所森林・林業研究センター森林育成科 上席研究員 袴田哲司
上席研究員 大場孝裕
科長 近藤 晃
(現西部農林事務所天竜農林局)
木材林産科 主任研究員 平山賢次
(現 森林資源利用科)
農林大学校林業分校 主幹 山本茂弘
(現 森林育成科長)
林業振興課 主査 渡井 純
森林保全課 技師 野末尚希
くらし・環境部自然保護課 主任 伊藤 愛

発行年月：平成31年2月
編集発行：静岡県経済産業部産業革新局研究開発課

〒420-8601
静岡市葵区追手町9番6号
TEL 054-221-3643

この情報は下記のホームページからご覧になれます。
<http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-130a/>

